

## Initiation à la pratique de l'électronique

# ALIMENTATION SECTEUR

*Une tension continue est toujours nécessaire pour alimenter un montage d'électronique.*

*Beaucoup d'électroniciens utilisent des piles pour l'alimentation de leurs circuits. Il faut dire que la pile plate de 4,5 V, avec ses trois éléments et ses lames flexibles, est vraiment très pratique. Souhaitons que ce modèle soit disponible encore pendant longtemps, car on ne le rencontre plus guère qu'en France. Les deux classes de piles les plus courantes sont les piles « salines » et les « alcalines ». Les premières suffisent pour l'alimentation des circuits électroniques, leurs performances sont excellentes. Les piles alcalines, reconnaissables par leur boîtier noir, sont plutôt réservées aux utilisations intensives, pour faire tourner un moteur de magnétophone ou de caméra, ou encore pour fournir l'énergie à un flash électronique.*

*Les piles ont un intérêt certain pour les applications mobiles, mais en fixe, dans son laboratoire personnel, une alimentation secteur est indispensable. Aujourd'hui nous parlerons de ce type d'alimentation, principalement de la partie redresseur. Il en existe de différents types, il est bon d'en connaître le fonctionnement afin d'être à même de choisir aussi bien le circuit le mieux adapté aux besoins, que les diodes qui le composeront.*

*Le mois prochain nous traiterons plus particulièrement des procédés de stabilisation.*

### Alimentation secteur

Vous avez décidé de vous lancer dans la construction de montages électroniques. Pour les alimenter, vous avez rejeté la solution « piles » parce que

vous savez par expérience qu'elles s'usent quand même assez rapidement et que leur prix n'est pas négligeable, aussi voulez-vous investir dans une alimentation secteur.

Une alimentation secteur est une chose facile à réali-

ser. Vous aurez tout intérêt à monter une alimentation stabilisée. Celle-ci a pour fonction de transformer la tension alternative du secteur en une tension continue, dont la valeur reste la même quel que soit le débit demandé par le circuit d'utilisation.

Une telle alimentation se compose de plusieurs parties :

- un transformateur,
- un redresseur,
- un filtre,
- une stabilisation.

Nous verrons qu'avant tout il faut connaître la tension et l'intensité continue dont on a besoin.

Pour les circuits les plus courants, une tension de 5 V est utilisée pour l'alimentation des circuits intégrés logiques TTL. Les transistors fonctionnent généralement avec une tension de 9 ou 12 V. Quant aux amplis opérationnels, la plupart d'entre eux nécessitent une tension de  $\pm 15$  V.

Pour les petits montages, une alimentation devrait au moins se composer d'une source de + 5 V pouvant débiter 1,5 A et d'une source de 12 V (0,2 A).

### Le transformateur

C'est un dispositif composé généralement de deux enroulements placés autour d'un noyau magnétique (voir « le Haut-Parleur » n° 1701, page 127). Un transformateur dont l'enroulement primaire est connecté aux 220 V du secteur peut transformer cette tension en valeur plus forte ou plus faible suivant que l'enroulement secondaire comporte plus ou moins de tours que le primaire.

Pour notre application (alimentation de transistors), le transformateur abaissera la tension secteur (220 V) à une tension supérieure de quelques volts à la tension continue demandée. Il devra pouvoir fournir un courant au moins égal au courant continu souhaité.

Un transformateur est caractérisé par sa tension primaire, sa tension secondaire et sa puissance. Cette dernière est égale au produit : Tension secondaire  $\times$  Courant secondaire.

Plus la puissance est élevée, plus le transformateur est gros. Pour nos montages, un modèle four-

nissant une tension de 15 V pour une puissance de 3 à 3,5 W sera le bienvenu (15 V x 0,2 A).

**Le redresseur**

Le but de l'élément branché au secondaire est de « redresser » la tension alternative afin de parvenir à la première étape pour l'obtention de la tension continue. Cet élément, appelé redresseur, peut être mono-alternance ou bi-alternance.

La figure 1 nous montre la forme des tensions avant et après redressement. A la sortie de celui-ci la tension ne varie plus autour de zéro comme c'est le cas pour la tension alternative, mais elle est composée uniquement d'alternances posi-

ves. La tension à la sortie du redresseur bi-alternance sera plus facilement transformée en tension continue puisque le nombre d'alternances est double (le filtrage sera plus efficace). Egalement, l'amplitude de la composante alternative est plus faible, donc sera plus facile à éliminer.

**Composition du redresseur**

Un redresseur est constitué d'une ou de plusieurs diodes.

Une diode, nous l'avons vu (« le Haut-Parleur » n° 1686), est un composant ne laissant passer le courant que dans un seul sens. Une diode pourrait être comparée à un interrupteur qui ne se fermerait

qu'à une certaine condition : la tension appliquée sur son anode doit être positive par rapport à sa cathode.

La cathode de la diode est généralement repérée par un anneau peint du côté de cette électrode. Si jamais le marquage était effacé, un moyen simple permettant de retrouver la sortie cathode est de placer la diode en série avec une ampoule (3,5 V, 0,1 A) et de placer le tout aux bornes d'une pile 4,5 V (fig. 2). L'ampoule ne s'allumera que lorsque l'anode sera du côté « plus » de la pile (ou, ce qui revient au même, si la cathode se trouve du côté « moins »). C'est également un bon moyen pour contrôler le bon état de la diode. En inversant la polarité de la pile, l'ampoule

doit rester éteinte. Attention : cet essai ne convient que pour les diodes de redressement qui sont prévues pour un courant direct d'au moins 100 mA (diode 1 N4148).

Pour le redresseur, nous pourrions utiliser 1, 2 ou 4 diodes. Elles seront du type « basse tension » (40 V) pouvant supporter 0,5 A.

**Redresseur mono-alternance**

Celui-ci est composé d'une seule diode placée en série dans le circuit (fig. 3). Entre l'extrémité « + » et la masse, nous n'avons qu'une alternance sur deux comme indiqué sur la figure 1. En plaçant aux bornes du circuit d'utilisation un condensateur d'assez forte valeur (au moins quelques microfarads), nous obtenons une tension continue positive avec une composante alternative (fig. 4). A la première alternance positive, C se charge à la tension crête de cette alternance (a-b). Entre deux alternances, le condensateur C se décharge à travers le circuit d'utilisation. La tension redressée est donc constituée d'une tension continue (V cont.), légèrement inférieure à la tension crête, et d'une composante alternative (V alt.) qui sera d'autant plus élevée que la résistance du circuit d'utilisation sera faible. Ce montage est peu utilisé, il est intéressant seulement lorsque le circuit d'utilisation ne demande qu'un courant extrêmement faible, car dans ce cas la tension continue reste égale à la tension crête redressée et la composante alternative est nulle.

Avant de passer à d'au-

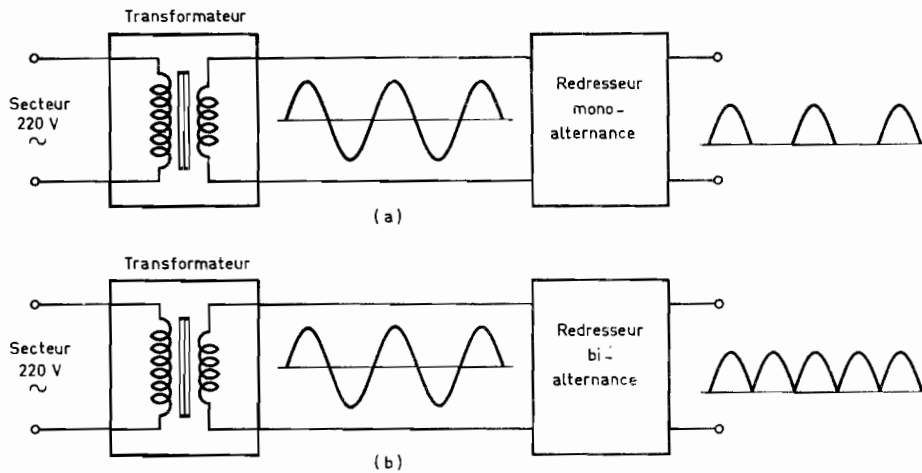


Fig. 1. - Forme de la tension avant et après redressement mono-alternance (a) et bi-alternance (b).

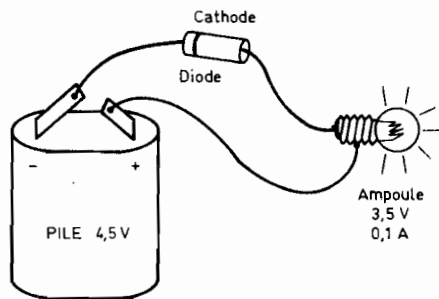


Fig. 2. - Si l'anode se trouve du côté + de la pile, l'ampoule s'allume.

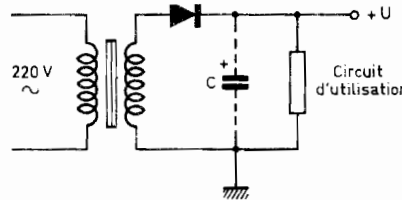


Fig. 3. - Redresseur mono-alternance.

tres types de redresseur, nous voudrions faire quelques remarques sur le fonctionnement de ce circuit. Nous avons sur la figure 5 deux schémas de redresseurs mono-alternances, l'un avec, l'autre sans condensateur. Commençons par celui sans condensateur. A droite, deux schémas équivalents, l'un pour l'alternance positive (diode passante, résistance directe = 5 Ω), l'autre pour l'alternance négative (diode bloquée, résistance inverse = 1 MΩ). Le schéma a été volontairement très simplifié pour mieux en comprendre le fonctionnement et connaître la valeur des tensions aux bornes de la diode et aux bornes du circuit d'utilisation. D'abord le transformateur est remplacé par un générateur en série avec sa résistance interne. La tension fournie par ce générateur est la tension aux bornes du secondaire à vide (c'est-à-dire non branché au circuit d'utilisation). Cette tension est supposée ici être de 10 V crête. La résistance interne de ce générateur équivaut en principe à la résistance ohmique de l'enroulement secondaire. Mettons qu'elle soit de 5 Ω. Pour simplifier, nous disons que la diode présente une résistance directe  $R_D$  égale à 5 Ω et une résistance inverse de 1 MΩ. Quant au circuit d'utilisation, il est équivalent à une résistance de 990 Ω.

Pour l'alternance positive, la presque totalité de la tension se retrouve aux bornes de la 990 Ω. Cette tension est de 9,90 V

$$= 10 \text{ V} \times \frac{990}{(990 + 5 + 5)}$$

Une très faible tension se trouve donc aux bornes de la diode (diode presque parfaite puisque nous négligeons

la tension de seuil de 0,6 V).

Pour l'alternance négative, cette diode présente une résistance inverse très élevée (1 MΩ). Si nous faisons le même calcul que tout à l'heure, nous constatons que la tension (négative) aux bornes des 990 Ω est très faible (- 9 mV environ) et que la presque totalité de la tension se retrouve aux bornes de la diode (tension aux bornes de la charge

$$= (-10 \text{ V}) \times \frac{990}{990 + 5 + 1\,000\,000}$$

Tension aux bornes de la diode

$$= (-10 \text{ V}) \times \frac{1\,000\,000}{990 + 5 + 1\,000\,000}$$

Première conclusion : dans un redresseur mono-alternance, sans condensateur, la diode doit supporter une tension inverse égale à la valeur crête de la tension secondaire.

Passons maintenant au deuxième schéma avec condensateur. A chaque alternance positive, le condensateur C se charge à travers la faible résistance directe de la diode. Cette charge se fait de façon instantanée, pour notre exem-

ple la tension aux bornes de C est pratiquement 10 V. Quant à la tension aux bornes de la diode, elle reste très faible.

Pendant les alternances négatives, le condensateur n'est plus alimenté, il se décharge légèrement à travers la résistance d'utilisation, mais on peut considérer que la tension à la sortie est de 10 V. En revanche on remarque que la tension aux bornes de la diode est égale au double de la tension crête fournie par le générateur. En effet, nous avons d'une part la tension négative appliquée, et d'autre part, en série avec celle-ci, la tension aux

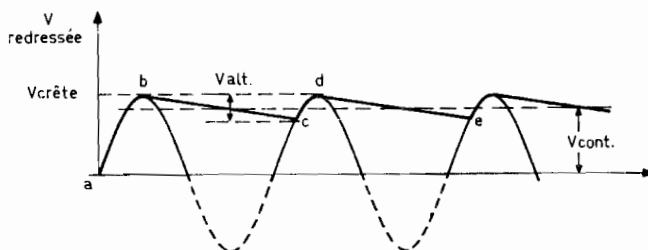


Fig. 4. - Forme d'onde à la sortie du redresseur mono-alternance. Plus la demande de courant est importante, plus la droite bc, dc, est inclinée. Si le courant demandé est infime, la tension continue reste égale à la valeur crête, et la tension résiduelle alternative est nulle.

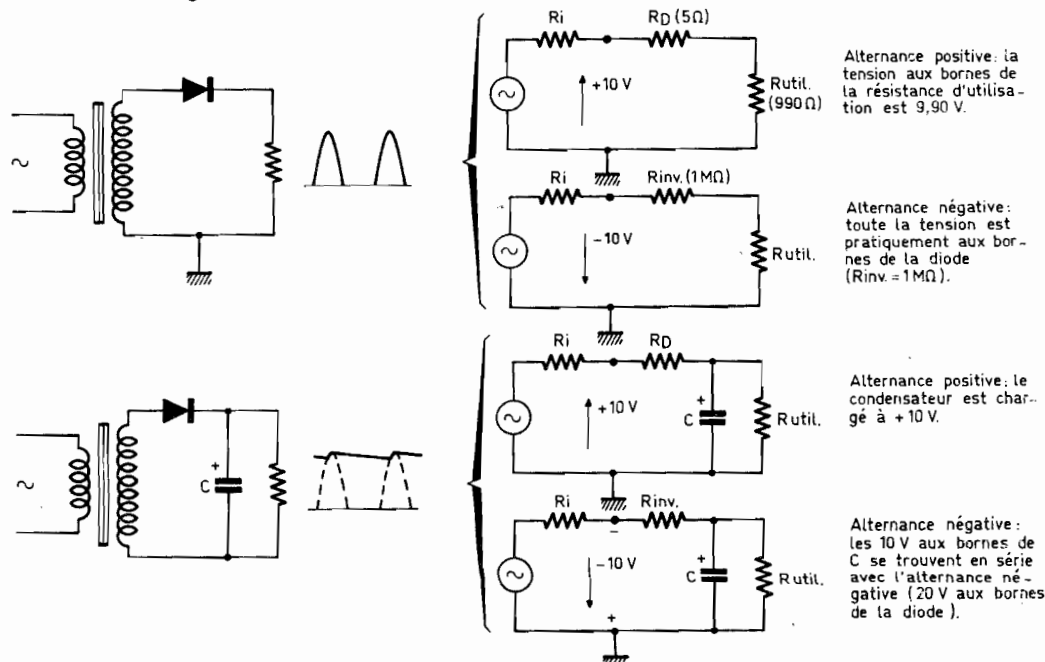


Fig. 5. - Redresseur mono-alternance avec et sans condensateur. A droite sont représentés les schémas équivalents. Le secondaire du transformateur est remplacé par un générateur en série avec sa résistance en série  $R_1$  (résistance de l'enroulement = 5 Ω).

bornes de C. Les polarités sont telles que ces tensions s'ajoutent.

Deuxième conclusion : dans un redresseur mono-alternance, avec condensateur, la diode doit pouvoir supporter une tension inverse égale au double de la valeur crête de la tension secondaire appliquée.

Prenons un exemple. La tension secondaire mesurée au multimètre est de 20 V, c'est-à-dire que la tension crête est de 28,3 V. La valeur limite de la tension inverse de la diode devra être au moins égale à 56,6 V.

**Redresseur bi-alternance**

Comme nous l'avons dit, on a tout intérêt à employer un redresseur bi-al-

ternance constitué soit de deux diodes, soit de quatre diodes montées en pont.

Le premier circuit (fig. 6) nécessite deux diodes et un transformateur à secondaire à point milieu. Les diodes fonctionnent alternativement.

A la première alternance, mettons qu'elle soit, par rapport à B, positive au point A. La diode D<sub>1</sub> est alors passante et on retrouve aux bornes de R une demi-alternance positive dont la valeur crête est égale à la tension crête de la tension fournie par le demi-secondaire (moins la très faible chute aux bornes de D<sub>1</sub>).

A l'alternance suivante (alternance négative), c'est le point B qui est positif par rapport à A. La diode D<sub>2</sub>

est passante et on retrouve aux bornes de R une deuxième alternance positive (fig. 7), égale elle aussi à la valeur crête de la demi-tension secondaire.

Pour le redressement mono-alternance, nous avons vu qu'il fallait que le secondaire fournisse une tension crête légèrement supérieure à la tension continue demandée. Par exemple, pour une tension continue de 10 V, il est souhaitable de disposer d'une tension secondaire de valeur crête légèrement supérieure à 10 V, soit au moins 12 V crête. Cette dernière correspond à une valeur efficace de 8,5 V. Ainsi la tension secondaire du transformateur devra être égale à 8,5 V pour le montage mono-alternance,

et à 2 fois 8,5 V pour le montage bi-alternance (17 V au total avec un point milieu).

En ce qui concerne la tension aux bornes de la charge et de la diode, les valeurs sont les mêmes que pour le redressement mono-alternance. En prenant comme exemple les valeurs ci-dessus (tension continue de 10 V), la tension inverse appliquée à chaque diode pendant les alternances négatives serait sensiblement égale à 10 V si aucune capacité ne shunte la charge, et 20 V dans le cas contraire.

Le schéma du redresseur en pont est donné sur la figure 8. Sur le premier schéma (a), nous avons indiqué le cheminement du courant lorsque le point A est positif par rapport à B. Les diodes D<sub>1</sub> et D<sub>3</sub> sont conductrices, tandis que D<sub>2</sub> et D<sub>4</sub> sont bloquées. En effet, l'anode de D<sub>1</sub> est reliée à un potentiel positif, le courant passera dans le sens de la flèche. Il passe également à travers la diode D<sub>3</sub> puisque l'anode de celle-ci est positive par rapport à sa cathode. Ce courant ne passera pas à travers D<sub>4</sub> puisque l'anode de celle-ci est moins positive que sa cathode (une diode est bloquée si son anode est négative par rapport à sa cathode ou, ce qui revient au même, si sa cathode est positive par rapport à son anode).

Le schéma équivalent pour cette alternance positive est représenté figure 9. En faisant le calcul des tensions, comme nous l'avons fait pour le redresseur à une alternance, nous pouvons constater que la tension aux bornes de la résistance d'utilisation R<sub>4</sub> est légèrement inférieure à celle des deux premiers schémas, puisque nous

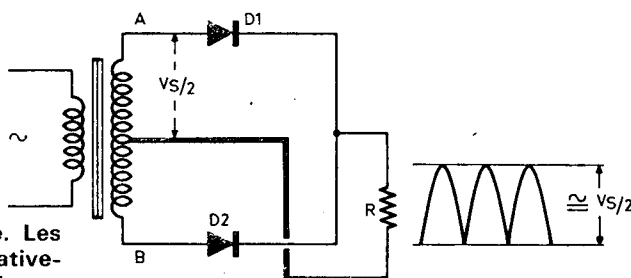


Fig. 6. — Redresseur bi-alternance. Les deux diodes fonctionnent alternativement. La tension aux bornes de la charge est égale à la tension d'un demi-secondaire.

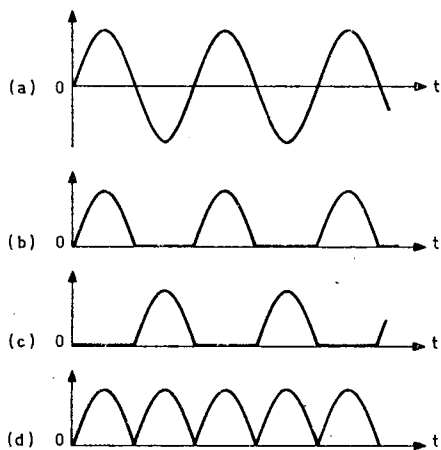


Fig. 7. — La tension alternative (a) est appliquée au redresseur. La tension à la sortie du redresseur (b) est la somme des demi-alternances traversant D<sub>1</sub> (b) et D<sub>2</sub> (c).

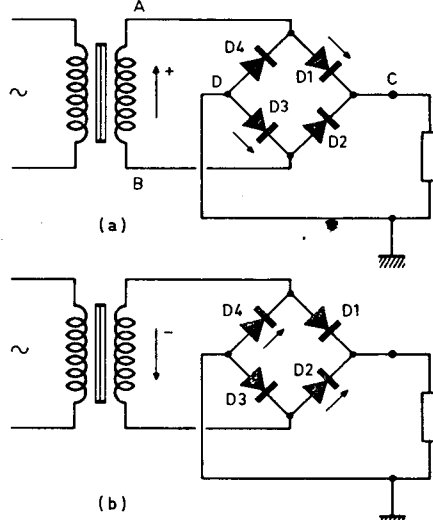


Fig. 8. — Schéma d'un redresseur en pont. Les flèches indiquent le passage du courant pour les alternances positives (a) et négatives (b).

avons deux diodes passantes en série dans le montage en pont.

Pendant l'alternance suivante, le point A est négatif par rapport à B et le courant traversera D<sub>2</sub> et D<sub>4</sub> puisque les cathodes de celles-ci sont négatives par rapport à leurs anodes. Le résultat est qu'à la sortie nous n'avons que des alternances positives aux bornes du circuit d'utilisation.

Revenons au schéma équivalent de la figure 9, la tension aux bornes de la résistance R<sub>4</sub> est de 9,85 V, et la tension aux bornes de chaque diode est de 0,05 V. Pour être exact, il aurait fallu tenir compte de la résistance en inverse des diodes D<sub>2</sub> et D<sub>4</sub>. En réalité, puisque ces résistances inverses sont très élevées (plusieurs mégohms), elles n'ont que peu d'influence sur les tensions. Nous avons représenté la résistance de ces 4 diodes sur le schéma équivalent de la figure 10. Le point D est à la masse, la tension en C est de + 9,85 V. On remarque que la tension inverse aux bornes des diodes bloquées est toujours légèrement inférieure à la valeur crête de la tension appliquée, et ceci, même si la charge R<sub>4</sub> est shuntée par un condensateur. Ainsi, pour le choix des diodes d'un redresseur en pont, leur tension maximale en inverse sera au moins égale à la valeur crête de la tension alternative appliquée.

Quelques remarques doivent être faites au sujet de la prise de masse. Sur la figure 8, elle est située au point D, de telle sorte qu'en C nous avons une tension positive. Si ce point de masse avait été en C, nous aurions eu aux bornes du circuit d'utilisation une

tension négative. Avant de relier un point à la masse, il faut s'assurer qu'aucun autre point du circuit, présentant un potentiel différent, n'a été déjà choisi comme masse. Sur le schéma de redresseur en pont, il ne faudrait surtout pas relier la base du secondaire à la masse ni non plus la base de la résistance R<sub>4</sub> : la diode D<sub>3</sub> se trouverait, de ce fait, court-circuitée.

### Le filtrage

Dans les alimentations les plus simples, le filtrage s'obtient par un circuit composé soit par un ensemble résistance-condensateur (RC), soit par un ensemble inductance-condensateur (LC) (fig. 11).

Comme nous l'avons vu, le condensateur C<sub>1</sub> se charge à chaque alternance positive, et lorsque l'alternance décroît, ce condensateur C<sub>1</sub> se décharge légèrement à travers R (ou L) dans le circuit d'utilisation. L'ondulation résiduelle aux bornes de C<sub>1</sub> est fortement diminuée par la présence des deux composants du filtre. Le choix de ces composants est déterminé par l'utilisation souhaitée.

Une résistance est employée dans un circuit de filtrage lorsque le débit de courant est faible (alimentation de quelques transistors). La chute de tension (R × I) aux bornes de la résistance est négligeable. En plus, il y a économie, une résistance coûtant

beaucoup moins cher qu'une inductance de filtrage.

Malgré cela, l'emploi d'une inductance est intéressant car sa résistance est faible (chute de tension très faible en continu) et son inductance est élevée (chute de tension importante pour la composante alternative résiduelle).

Le coefficient de filtrage d'une cellule composée d'une inductance L et d'un condensateur C est donnée par la relation :

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \omega^2 LC$$

(voir démonstration dans l'encadré). V<sub>1</sub> est la tension alternative résiduelle à l'entrée du filtre et V<sub>2</sub> la tension à la sortie ;  $\omega = 2 \pi F$ . Dans cette formule on né-

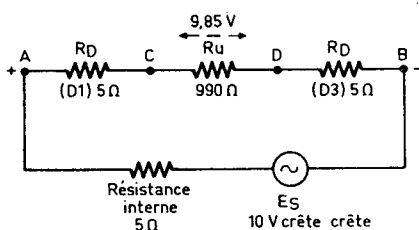


Fig. 9. — Schéma équivalent du redresseur en pont (pour une alternance positive). La résistance en inverse des diodes D<sub>2</sub> et D<sub>4</sub> n'a pas été indiquée.

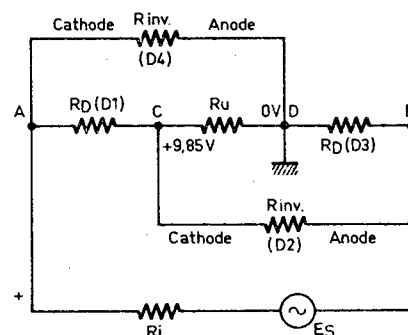


Fig. 10. — Schéma équivalent du redresseur en pont. Que la résistance d'utilisation R<sub>u</sub> soit shuntée ou non par un condensateur, la tension inverse aux bornes des diodes est toujours la même, et reste inférieure à la tension crête appliquée.

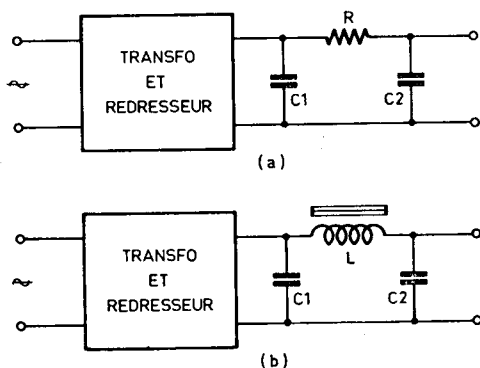


Fig. 11. — Les filtrages les plus simples se composent d'un ensemble RC (a) ou LC (b).

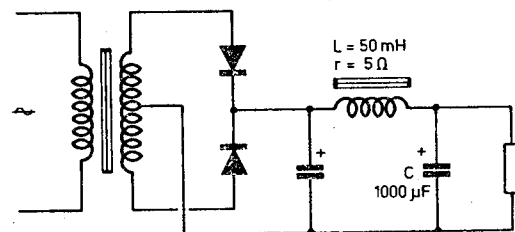


Fig. 12. — Exemple d'utilisation d'une cellule LC de filtrage. La tension alternative à la sortie du filtre est réduite de 20 fois (voir texte).

glige la résistance ohmique de la bobine, très faible par rapport à sa réactance  $L \omega$ .

En ce qui concerne la fréquence  $F$ , il s'agit bien entendu de celle après redressement, c'est-à-dire que, si l'alimentation est branchée sur un réseau 50 Hz, cette fréquence  $F$  est égale à 50 Hz pour un redressement à une alternance et 100 Hz pour le cas du bi-alternance.

Le coefficient de filtrage d'une cellule RC est donnée par :  $\alpha = \omega RC$ .

Appliquons maintenant ces formules. Nous disposons d'un condensateur de filtrage  $C = 1\,000 \mu F$  et d'une bobine de filtrage dont les caractéristiques sont 50 mH et la résistance  $5 \Omega$ . La composante alternative résiduelle mesurée à l'oscilloscope à la sortie du redresseur (fig. 12), transcrite en valeur efficace est 500 mV. Quelle sera la tension résiduelle à la sortie de la cellule de filtrage ? La valeur de  $\alpha$  est :  $(2 \times 3,14 \times 100)^2 \times 50 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$ , soit 19,7. La tension de 500 mV est divisée par 19,7, ce qui donne une résiduelle en sortie égale à 25,4 mV.

Maintenant, si nous remplaçons la bobine par une résistance, quelle devrait être la valeur de celle-ci pour obtenir le même degré de filtrage ? Nous partons de  $\omega RC = 19,7$  pour en tirer  $R$ , soit :

$$R = \frac{19,7}{\omega C} = \frac{19,7}{2 \times 3,14 \times 100 \times 10^{-3}}$$

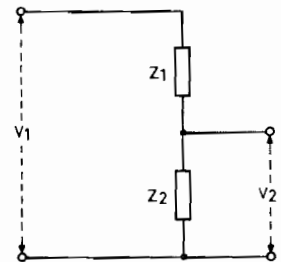
soit 31  $\Omega$ .

Remarquons que cette résistance est traversée par le courant total demandé par le montage. Si ce courant est 500 mA (0,5A), la chute de tension sera de 15,5 V dans cette 31  $\Omega$ . Elle ne serait que de 2,5 V dans l'inductance. **J.-B. P.**

## Coefficient de filtrage

Une cellule de filtre est un diviseur de tension. On sait que celui-ci est composé de deux impédances et que son rapport diviseur est égal à un rapport d'impédances : impédance aux bornes de laquelle on prend la tension de sortie, sur impédance aux bornes de laquelle on applique la tension à diviser. Autrement dit :

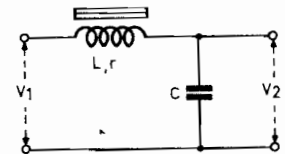
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$



Dans la technique des filtres, on préfère exprimer l'efficacité de filtrage par un nombre plus grand que l'unité. C'est pourquoi le coefficient de filtrage  $\alpha$  est donné par le rapport  $V_1/V_2$ , inverse du rapport diviseur.

Pour une cellule de filtre constituée par une inductance et un condensateur, nous avons :

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)}{\frac{1}{C\omega}} = C\omega \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)$$

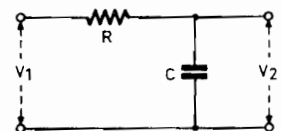


soit  $\alpha = L C \omega^2 - 1$  ou  $\alpha = L C \omega^2$ ,

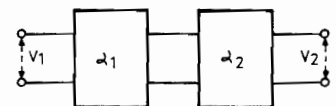
$L C \omega^2$  étant généralement beaucoup plus grand que 1. On a négligé également la composante ohmique  $r$  de la bobine, très petite par rapport à  $L\omega$  à la fréquence de la résiduelle à éliminer.

Pour une cellule RC,

$$\alpha = \frac{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}}}{\frac{1}{C\omega}} = C\omega \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2 \omega^2}} = \sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}$$



Mais comme, ici aussi,  $R^2 C^2 \omega^2$  est très élevé par rapport à 1, on obtient :  $\alpha = R C \omega$ .



Si deux cellules de filtre se suivent, le coefficient de filtrage total est :  $\alpha_T = \alpha_1 \times \alpha_2$ .

Un filtrage est d'autant meilleur que son  $\alpha$  est élevé.